

### Comportamento Fisiológico de Plantas de Aveia (*Avena strigosa*) em Solos com Excesso de Cobre

Henrique Pessoa dos Santos<sup>1</sup>  
George Wellington Bastos de Melo<sup>2</sup>  
Naíssa Batista da Luz<sup>3</sup>  
Rafael José Tomasi<sup>4</sup>

#### Introdução

Em cultivos vitícolas são empregadas grandes quantidades de produtos a base de cobre para o controle fitossanitário das plantas, tal como a calda bordalesa [CuSO<sub>4</sub> + Ca(OH)<sub>2</sub>]. Entretanto, o uso continuado desses produtos pode resultar no acúmulo de cobre no solo, como tem sido observado em análises de solos de diferentes localidades na região da Serra Gaúcha (GIOVANNINI, 1997). Este acúmulo também tem sido observado em outros países, como na França onde, segundo Flores-Velez et al., 1996, a aplicação em longo prazo de fungicidas cúpricos, para controle de míldio da videira, resultou em aumento da concentração de cobre no solo na ordem de 100 a 1500 mg kg<sup>-1</sup> de solo. A acumulação de cobre, nos solos das regiões vitivinícolas, ocorre nas primeiras camadas do solo em função da interação que esse metal apresenta com as frações de matéria orgânica e argila (EPSTEIN; BASSEI, 2001).

Esta interação do cobre no solo é um processo físico-químico importante na

redução de sua mobilidade e, conseqüentemente, da sua disponibilidade. Entretanto o tipo de solo, aliado às práticas agrícolas que proporcionem alterações de pH (pH ácido → aumenta solubilidade do cobre) e perda de matéria orgânica do solo, facilita a mobilidade desse elemento e, conseqüentemente, a contaminação do lençol freático (KARATHANASIS, 1999; ALVA et al., 2000; KABALA; SINGH, 2001).

O cobre é um micronutriente essencial para as plantas, participando como componente de diversas enzimas que catalisam o fluxo de elétrons e as reações de oxidação-redução nas células. Entretanto, em altas concentrações na solução do solo, esse elemento pode proporcionar alterações drásticas nos tecidos vegetais, em nível bioquímico e fisiológico, os quais podem resultar em perdas consideráveis para o potencial produtivo das plantas.

A aveia preta (*Avena strigosa*) tem sido amplamente utilizada, como cobertura verde em vinhedos, visando a proteção

<sup>1</sup> Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Caixa Postal 130, CEP 95700-000 Bento Gonçalves, RS. E-mail: [henrique@cnpuv.embrapa.br](mailto:henrique@cnpuv.embrapa.br).

<sup>2</sup> Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho. E-mail: [george@cnpuv.embrapa.br](mailto:george@cnpuv.embrapa.br)

<sup>3</sup> Eng. Florestal., Msc., Pesquisadora, Embrapa Uva e Vinho. E-mail: [naissa@cnpuv.embrapa.br](mailto:naissa@cnpuv.embrapa.br)

<sup>4</sup> Estagiário, Acadêmico do CEFET, Bento Gonçalves, RS.

contra processos erosivos e a melhoria nos atributos físico e químico do solo. Contudo, em várias localidades, essa e outras espécies (até mesmo nativas) têm apresentado crescimento fraco, clorose e morte de plantas, inviabilizando a introdução e o manejo de cobertura verde nessas áreas. Baseado em observações preliminares, pode-se supor que esse declínio das plantas de cobertura deve estar relacionado com o grande acúmulo de cobre que esses solos apresentam

(GIOVANINNI, 1997). Sendo assim, no presente trabalho, destacam-se alguns efeitos que o excesso de cobre pode proporcionar sobre o desenvolvimento e o metabolismo de plantas de aveia, cultivadas em dois tipos de solos (Argissolo Acinzentado e Cambissolo Húmico) da região da Serra Gaúcha, sendo o teor de matéria orgânica a principal diferença entre os dois solos, cujos atributos químicos e físicos são encontrados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Alguns atributos físico-químicos de dois solos da região da Serra Gaúcha, empregados nesse trabalho.

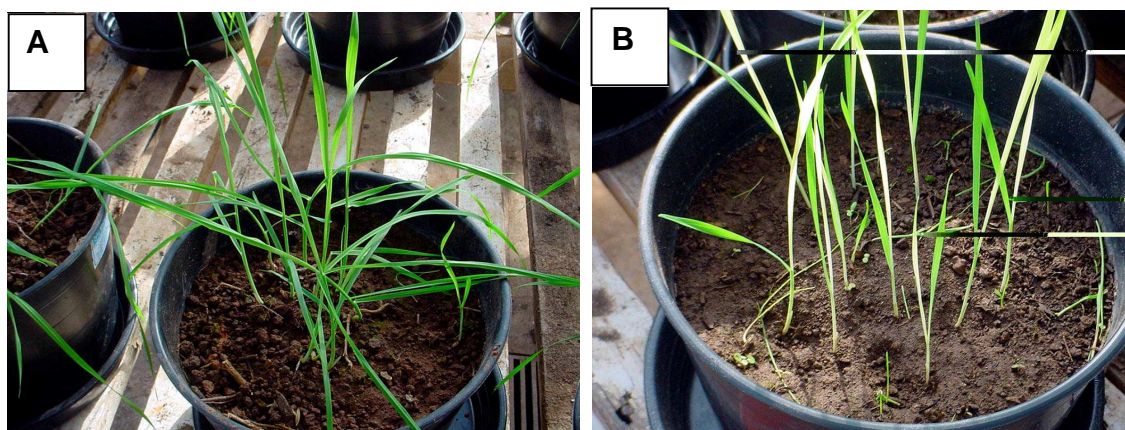
Variáveis	SOLO A Argissolo Acinzentado	SOLO B Cambissolo Húmico	Diferenças (B – A)
Argila (g.dm <sup>-3</sup> )	460	350	- 110,0 ( - 23,9 %) *
Matéria Orgânica (g.dm <sup>-3</sup> )	21,8	61,0	+ 39,2 (+179,8 %)
PH	4,9	4,9	0,0 ( 0,0 %)
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	5,1	2,5	- 2,6 ( - 51,0 %)
K (mg.dm <sup>-3</sup> )	96	77	- 19,0 ( - 19,8 %)
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	55,3	54,2	- 1,1 ( - 2,0 %)
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	15,5	16,1	+ 0,6 ( + 3,9 %)
Al Trocáveis (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,9	3,9	- 2,0 ( - 33,9 %)
Cu (mg.dm <sup>-3</sup> ) HCl	4,6	1,6	- 3,0 ( - 65,2 %)

(\*) Percentual da diferença em relação ao Argissolo (A).

### Efeitos da toxidez de cobre sobre o crescimento das plantas

As plantas de aveia apresentaram redução drástica no crescimento e desenvolvimento em doses excessivas

de cobre (100 mg Cu kg<sup>-1</sup> de solo), conforme observado na Fig. 1. No comparativo (A e B), as plantas sob toxidez tiveram o crescimento suprimido e apresentaram o sintoma de amarelecimento foliar.



**Fig. 1.** Plantas de aveia preta (*Avena strigosa*) com 20 dias, crescidas em Argissolo Acinzentado sem a adição de cobre (A) e com a adição de 100 mg de cobre kg<sup>-1</sup> de solo(B).

**Tabela 2.** Efeito da adição de cobre na produção de massa seca da parte aérea, comprimento, área e diâmetro de raízes de aveia cultivada em dois solos.

Doses de Cobre (mg.kg <sup>-1</sup> de solo)	Argissolo Acinzentado	Cambissolo Húmico
<b>Massa Seca da Parte Aérea ( g )</b>		
0	0,99 a	1,08 a
10	0,97 a	0,97 a
40	1,04 a	0,86 a
100	0,72 b	0,82 a
C.V. (%)	(9,96)	(13,36)
<b>Comprimento de Raízes (cm)</b>		
0	12.371,0 a	22.959,8 a
10	13.707,3 a	22.083,3 a
40	12.438,3 a	24.436,5 a
100	4.420,5 b	18.336,8 a
C.V. (%)	(30,91)	(13,29)
<b>Área de Raízes (cm<sup>2</sup>)</b>		
0	456,3 a	627,8 a
10	552,8 a	567,5 a
40	328,8 b	693,5 a
100	176,3 c	531,8 a
C.V. (%)	(15,31)	(10,43)
<b>Diâmetro de Raízes (mm)</b>		
0	0,383 a	0,279 a
10	0,406 a	0,242 a
40	0,291 a	0,284 a
100	0,396 a	0,315 a
C.V. (%)	(17,11)	(14,06)

Na mesma coluna, as médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

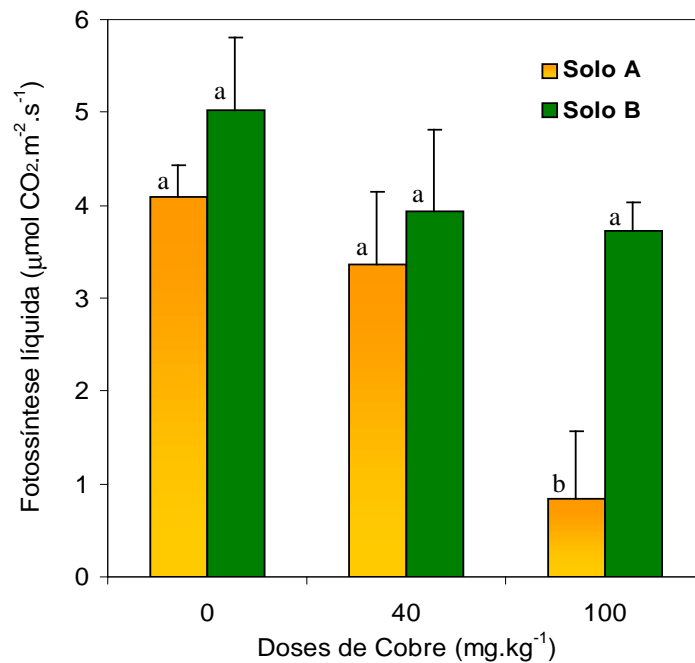
### Efeitos da toxidez de cobre sobre o metabolismo foliar

Na análise do comportamento metabólico de folhas de aveia (*Avena strigosa*), crescidas em dois tipos de solo e sob doses de cobre (Fig. 2), observou-se que as doses excessivas desse metal proporcionaram redução drástica na atividade fotossintética das plantas. Além disso, a intensidade do efeito do cobre foi dependente do tipo de solo em que as plantas cresceram.

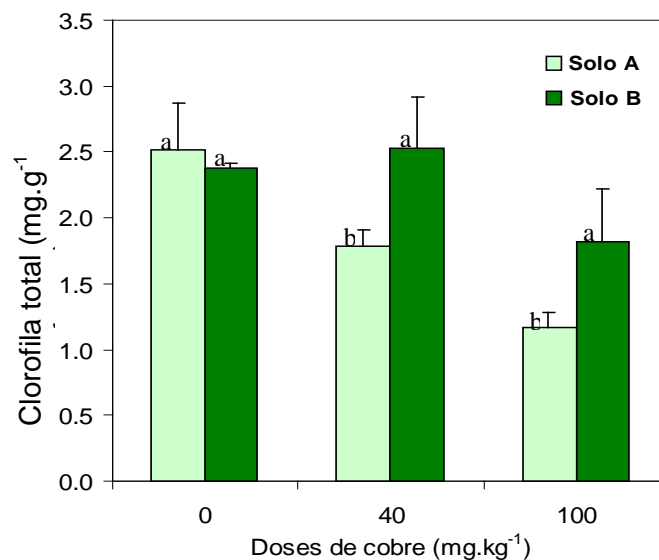
Os efeitos do cobre sobre a atividade fotossintética das plantas foram relacionados diretamente com a variação nos teores de clorofila que as plantas de aveia apresentaram, quando

crescidas sob as diferentes doses desse metal (Fig. 3).

No comparativo, pode-se observar que a variação nos teores de clorofila total seguiram os padrões de variação observados com a atividade fotossintética em ambos os solos (compare Fig. 2 com a Fig. 3). De acordo com Panou-Filotheou *et al.* (2001), esta redução em clorofila e fotossíntese, provocada pelo excesso de cobre, está relacionada principalmente com a redução no número e volume dos cloroplastos, que são as organelas responsáveis pela atividade fotossintética nas plantas.



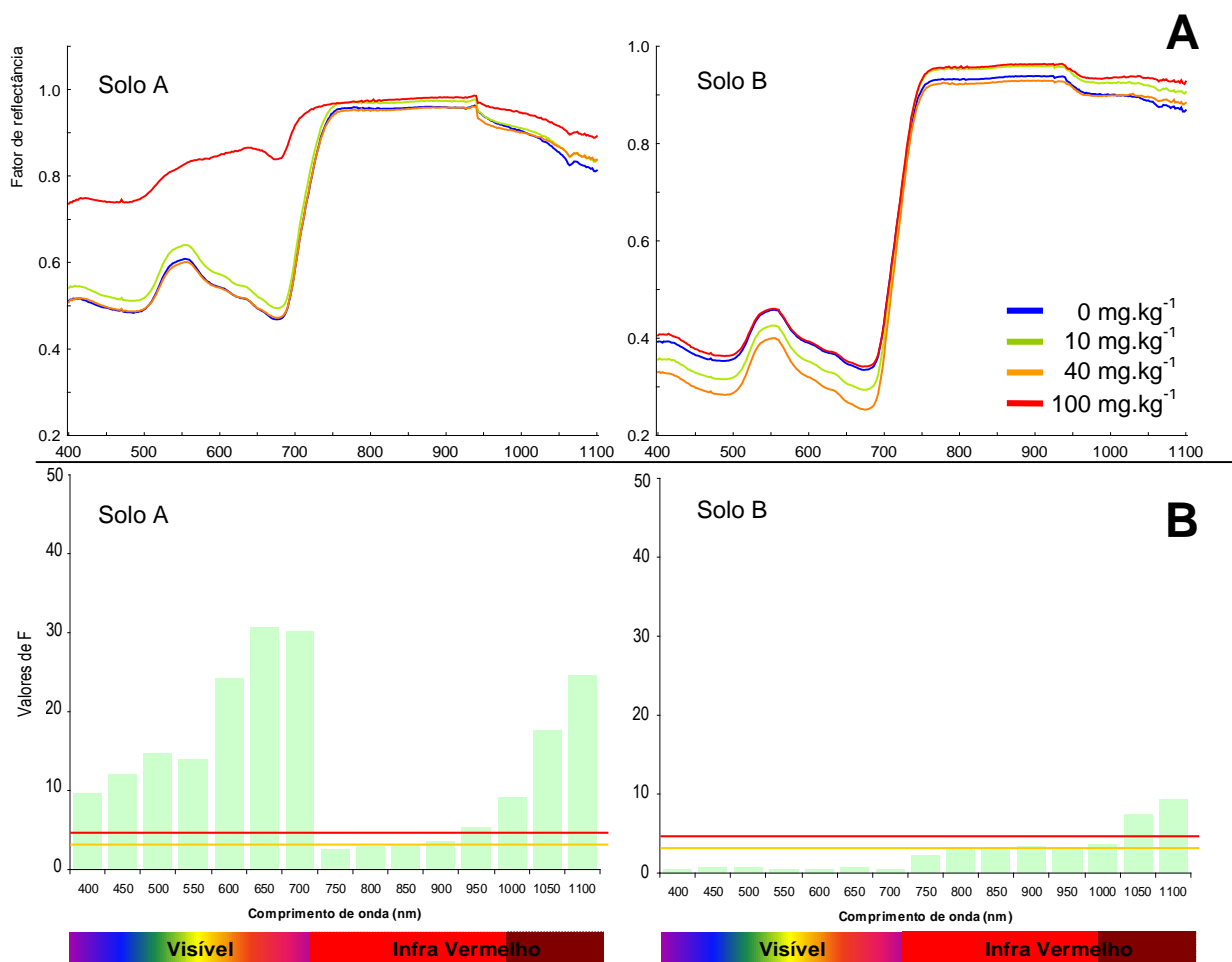
**Fig. 2.** Fotossíntese líquida em folhas de planta de aveia (*Avena strigosa*) cultivadas em Argissolo Acinzentado (Solo A) e Cambissolo Húmico (Solo B) sob doses crescentes de cobre (fonte: Sulfato de cobre). As plantas foram cultivadas em vasos e em casa de vegetação. Em cada solo e dose de cobre foram avaliadas seis folhas totalmente expandidas, utilizando a radiação de saturação ( $200 \mu\text{mol}$  de fótons. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). O equipamento utilizado foi o medidor portátil de fotossíntese modelo LI-6400 (Licor). As médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.



**Fig. 3.** Teor de clorofila total em folhas de plantas de aveia (*Avena strigosa*), cultivadas em Argissolo Acinzentado (Solo A) e Cambissolo Húmico (Solo B) sob doses crescentes de cobre (fonte: Sulfato de cobre). As plantas foram cultivadas em vasos e em casa de vegetação. Foram avaliadas as mesmas seis folhas totalmente expandidas, utilizadas nas análises de fotossíntese. As análises foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Passos (1996). As médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Em função da relação direta entre a atividade fotossintética e a resposta espectral dos tecidos vegetais na região do visível (400 a 700 nm) (KUMAR, 1972; LILLESAETER, 1982; GOEL, 1988; PONZONI, 2001), os efeitos do cobre sobre o metabolismo foliar puderam também ser detectados através da análise da reflectância foliar. Foram observadas diferenças significativas entre a reflectância das folhas cultivadas com diferentes concentrações de cobre no solo. As maiores reflectâncias foram provocadas pelas maiores

concentrações de cobre e em folhas de plantas crescidas em Argissolo Acinzentado (Fig. 4A, solo A). Essa tendência é facilmente visualizada na Fig. 4B (solo A), onde se demonstra que os tratamentos apresentam diferenças altamente significativas na maioria dos comprimentos de onda e, acentuadamente, nos comprimentos de onda na faixa do visível (400-700 nm). O mesmo não é verdadeiro para os resultados de reflectância das plantas cultivadas em Cambissolo Húmico (Fig. 4, solo B).



**Fig. 4.** Fator de reflectância (*Avena strigosa*) (A) e valores de F (B), para nível de probabilidade de 1% resultantes da análise de variância, das curvas de reflectância espectral de folhas de plantas de aveia cultivadas em Argissolo Acinzentado (Solo A) e Cambissolo Húmico (Solo B) sob doses crescentes de cobre (fonte: Sulfato de cobre). As plantas foram cultivadas em vasos e em casa de vegetação. Foram avaliadas as mesmas seis folhas totalmente expandidas, utilizadas nas análises de fotossíntese e clorofila.

De modo geral, pode-se observar que os tratamentos mais drásticos (Solo A e 100 mg.kg<sup>-1</sup> de solo) promoveram a maior reflectância da luz incidente na folha na região do visível, o que demonstra a perda na capacidade de absorção e utilização da radiação solar através dos pigmentos, como a clorofila, e dos processos bioquímicos da fotossíntese foliar.

De acordo com a literatura, o cobre pode promover a redução das clorofilas através do estímulo à produção de radicais livres de oxigênio (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e HO<sup>•</sup>) (SANDMANN; BOGER, 1980; RAMA DEVI; PRASAD, 1998). O aumento desses radicais livres proporciona o chamado “estresse oxidativo”, o qual determina a peroxidação dos lipídeos e o rompimento de membranas. Com o rompimento das membranas, ocorre a perda de fluidos e do gradiente osmótico nas células e em organelas, como o cloroplasto, o que paralisa o metabolismo.

Dentre os mecanismos de tolerância e proteção que uma planta pode apresentar contra os efeitos desencadeados pela toxidez de cobre, estão todos os processos metabólicos que destroem ou imobilizam os peróxidos e os radicais livres de oxigênio, tais como enzimas antioxidativas (*Peroxidase*, *Catalase*, *Superoxido desmutase*) e as substâncias antioxidantes (Glutathione reduzida, Ascorbato e Carotenóides) (BUCHANAN et al., 2000). Todos esses mecanismos são dependentes da espécie, o que proporciona uma distinção de resposta entre plantas com relação a capacidade de tolerância aos níveis de cobre.

As alterações metabólicas foliares em relação aos níveis de cobre também podem ser explicadas pelos efeitos que esse micronutriente desencadeia no metabolismo do nitrogênio. De acordo com LLORENS et al. (2000), os altos teores de cobre reduzem drasticamente a atividade das enzimas de fixação e

assimilação de nitrogênio (*Nitrato e Nitrito redutases*, *Glutamina sintase-Glutamato sintase*), principalmente nas raízes, reduzindo os níveis de nitrogênio total, nitrato e aminoácidos livres (especialmente glutamina e glutamato) em toda a planta. Nesses efeitos, o cobre altera principalmente a capacidade de assimilar nitrogênio na forma de nitrato. O nitrogênio amoniacal não se apresenta tão limitado, principalmente nas folhas, o que pode compensar em parte a drástica redução na assimilação de nitrato, mantendo a planta viva e com uma atividade mínima de crescimento. De modo geral, o cobre pode apresentar uma grande proporção de danos em relação aos benefícios, quando a sua disponibilidade é elevada.

### **Fatores do solo que contribuem para a toxidez de cobre nas plantas**

Em todas as variáveis, apresentadas nesse trabalho, foram observados comportamentos distintos das plantas em relação às doses de cobre, quando cultivadas em diferentes solos. De acordo com ALVA et al. (2000), a fitotoxidade do cobre depende da distribuição relativa entre as formas químicas desse metal, as quais são função das propriedades físico-químicas de cada solo, tais como pH e conteúdo de matéria orgânica. Na análise química de ambos os solos, observa-se que, de todas diferenças que existiram, a mais acentuada foi no teor de matéria orgânica (Tabela 1). Considerando esse fator, as influências ocorrem de duas maneiras: a) a matéria orgânica, em função das cargas negativas, tende a complexar o cobre (Cu<sup>+2</sup>); b) a matéria orgânica pode compensar a redução na absorção de nitrato pelas raízes com o maior suprimento de nitrogênio. Considerando o pH ácido de ambos os

solos (4,9), a primeira alternativa torna-se a mais importante, pois em solos ácidos há tendência de aumentar a forma de cobre ligada à matéria orgânica, apesar desse pH também favorecer a forma livre e mais fitotóxica desse metal (ALVA et al., 2000). De modo geral, o suprimento de matéria orgânica (esterco e/ou composto orgânico), no solo, apresenta-se como uma das alternativas para se reduzir os impactos da toxidez de cobre. Isto em função da sua capacidade de complexar o cobre, portanto diminuindo a forma de cobre livre que é a mais fitotóxica, e também pelo maior suprimento de nitrogênio.

Por outro lado, nas condições da maioria dos solos da região da Serra Gaúcha, a adição de matéria orgânica, em função do teor de nitrogênio, pode promover crescimento excessivo das plantas, o que vai influenciar negativamente na produtividade e qualidade dos frutos. Portanto, o melhor meio para mitigar problemas de alta concentração de cobre no solo é diminuir a quantidade adicionada anualmente, o que requer cuidados com as dosagens, número de aplicações por safra, concentração de cobre na calda e substituição da calda bordalesa por outro(s) insumo(s) menos contaminante(s).

## Referências Bibliográficas

- ALVA, A. K.; HUANG, B.; PARAMASIVAM, S. Soil pH affects copper fractionation and phytotoxicity, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 64, p. 955-962, 2000.
- BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1367 p.
- EPSTEIN, L.; BASSEI, S. Pesticide applications of copper on perennial crops in California, 1993 to 1998. **J. Environ. Qual.**, v. 30, p. 1844-1847, 2001.
- FAUST, M. B.; CHRISTIANS, N. E. Copper reduces shoot growth and root development of creeping bentgrass. **Crop Sci.**, v. 40, p. 498-502, 2000.
- FLORES-VELEZ, L. M.; DUCAROIR, J.; JAUNET, A. M.; ROBERT, M. Study of the distribution of copper in an acid sandy vineyard soil by three different methods. **Eur. J. Soil Sci.**, v. 47, n. 4, p. 523-532, 1996.
- GIOVANNINI, E. Toxidez por cobre em vinhedos. **Pesq. Agrop. Gaúcha**, v. 3, n. 2, p. 115-117, 1997.
- GOEL, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sens. Rev.**, v. 4, p. 1-21, 1988.
- KABALA, C.; SINGH, B. R. Fractionation and mobility of copper, lead, and zinc in soil profiles in vicinity of a copper smelter. **J. Environ. Qual.**, v. 30, p. 485-492, 2001.
- KARATHANASIS, A. D. Subsurface migration of copper and zinc mediated by soil colloids. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 63, p. 830-838, 1999.
- KUMAR, R. **Radiation from plants-reflection and emission: a review**. Lafayette: Purdue Research Foundation, 1972. 88 p.
- LILLEASAETER, O. Spectral reflectance of partly transmitting leaves: laboratory measurements and mathematical modeling. **Remote Sens. Environ.**, v. 12, p. 24-254, 1982.
- LLORENS, N.; AROLA, L.; BLADÉ, C.; MAS, A. Effects of copper exposure upon nitrogen metabolism in tissue cultured *Vitis vinifera*. **Plant Sci.**, v. 160, p. 159-163, 2000.
- PANOU-FILOTHEOU, H.; BOSABALIDIS, A. M.; KARATAGLIS,



S. Effects of copper toxicity on leaves of oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*). **Ann. Bot.**, v. 88, p. 207-214, 2001.

PASSOS, L.P. **Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal**. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1996. 223 p.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. M., **Sensoriamento Remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: UNB;

Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

RAMA DEVI, S.; PRASAD, M. N. V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: Response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Sci.**, v. 138, p. 157-165, 1998.

SANDMANN, G.; BOGER, P. Copper-mediated lipid peroxidation processes in photosynthetic membranes. **Plant Physiol.**, v. 66, p. 797-800, 1980.

#### Comunicado Técnico, 49

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Uva e Vinho**  
Rua Livramento, 515 – C. Postal 130  
95700-000 Bento Gonçalves, RS  
**Fone:** (0xx)54 455-8000  
**Fax:** (0xx)54 451-2792  
[http:// www.cnpuv.embrapa.br](http://www.cnpuv.embrapa.br)

**1ª edição**  
1ª impressão (2004): 1.000 exemplares

#### Comitê de Publicações

**Presidente:** Gilmar Barcelos Kuhn  
**Secretário-Executivo:** Nêmora G. Turchet  
**Membros:** Francisco Mandelli e Gildo Almeida da Silva

#### Expediente

**Revisão do texto:** Rosa Mística Zanchin  
**Tratamento das ilustrações:** Henrique P. dos Santos  
**Editoração eletrônica:** Daiane Sganzerla